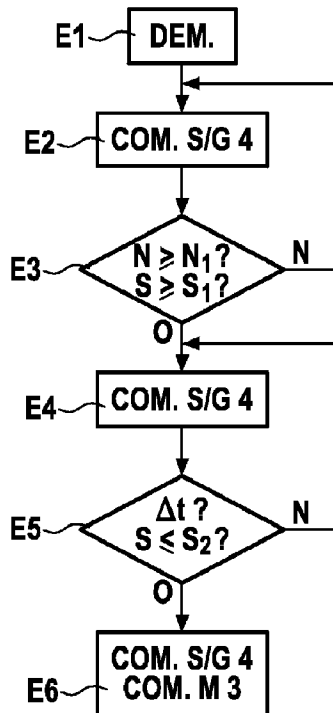




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2012/06/29
 (87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2013/01/17
 (45) Date de délivrance/Issue Date: 2020/01/28
 (85) Entrée phase nationale/National Entry: 2013/12/18
 (86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2012/051508
 (87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2013/007912
 (30) Priorité/Priority: 2011/07/12 (FR1156342)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *F01D 19/02* (2006.01),
F02C 7/26 (2006.01), *F02C 7/264* (2006.01),
F02C 7/268 (2006.01)
 (72) Inventeurs/Inventors:
MOUZE, YANN, FR;
BATLLE, FREDERIC FERDINAND JACQUES, FR;
HAEHNER, EDGAR, FR;
SEGURA, FREDERIC, FR
 (73) Propriétaire/Owner:
TURBOMECA, FR
 (74) Agent: LAVERY, DE BILLY, LLP

(54) Titre : PROCÉDE DE DEMARRAGE D'UNE TURBOMACHINE REDUISANT LE BALOURD THERMIQUE
 (54) Title: METHOD FOR STARTING A TURBOMACHINE THAT REDUCES THE THERMAL IMBALANCE



(57) **Abrégé/Abstract:**

L'invention propose un procédé de démarrage d'une turbomachine, mis en oeuvre par une unité électronique, la turbomachine comprenant un moteur à turbine à gaz incluant au moins un rotor et un démarreur apte à entraîner le rotor en rotation, le procédé

(57) **Abrégé(suite)/Abstract(continued):**

de démarrage comprenant : - une étape (E1) de réception d'un ordre de démarrage de la turbomachine, et, en réponse à la réception de l'ordre de démarrage : - une étape (E2, E3) d'accélération primaire dans laquelle on commande le démarreur pour augmenter la vitesse de rotation (N) du rotor, - une étape (E4, E5) d'homogénéisation thermique dans laquelle on commande le démarreur pour maintenir constante ou diminuer la vitesse de rotation (N) du rotor, jusqu'à la vérification d'une condition prédéterminée, - après vérification de la condition prédéterminée, une étape (E6) d'accélération secondaire dans laquelle on commande le démarreur pour augmenter la vitesse de rotation (N) du rotor, et - une étape (E6) d'allumage dans laquelle on commande l'allumage du moteur.

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international(10) Numéro de publication internationale
WO 2013/007912 A1(43) Date de la publication internationale
17 janvier 2013 (17.01.2013)

WIPO | PCT

(51) Classification internationale des brevets :
F01D 19/02 (2006.01) F02C 7/264 (2006.01)
F02C 7/26 (2006.01) F02C 7/268 (2006.01)3 Impasse Clairefontaine, F-64140 Lons (FR). **HAEHNER, Edgar** [FR/FR]; 52 rue de l'Egalité, F-64510 Bordes (FR). **SEGURA, Frédéric** [FR/FR]; 5 rue Raymond Poincaré, F-64230 Lescar (FR).(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2012/051508(74) Mandataires : **PECHER, Gilles** et al.; CABINET BEAU DE LOMENIE, 158 Rue de l'Université, F-75340 Paris Cedex 07 (FR).(22) Date de dépôt international :
29 juin 2012 (29.06.2012)

(25) Langue de dépôt : français

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1156342 12 juillet 2011 (12.07.2011) FR(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **TURBOMECA** [FR/FR]; F-64510 Bordes (FR).

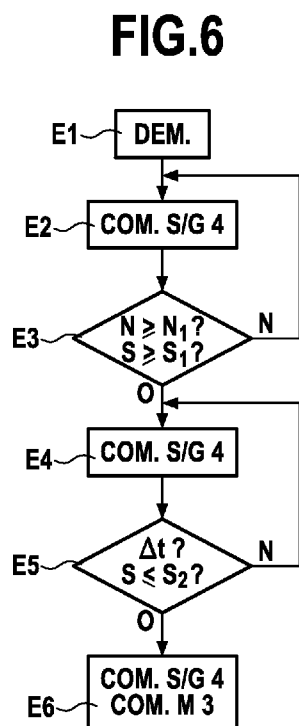
(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **MOUZE, Yann** [FR/FR]; 13 rue du Hourquît, F-64420 Limendous (FR). **BATLLE, Frédéric, Ferdinand, Jacques** [FR/FR];

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : METHOD FOR STARTING A TURBOMACHINE THAT REDUCES THE THERMAL IMBALANCE

(54) Titre : PROCÉDE DE DEMARRAGE D'UNE TURBOMACHINE REDUISANT LE BALOURD THERMIQUE



(57) **Abstract** : The invention proposes a method for starting a turbomachine, implemented by an electronic unit, the turbomachine comprising a gas turbine engine including at least one rotor and a starter able to turn the rotor, the starting method involving: - a step (E1) of receiving an order to start the turbomachine, and, in response to receipt of the start order: - a step (E2, E3) of primary acceleration during which the starter is commanded to increase the rotational speed (N) of the rotor, - a step (E4, E5) of thermal equalizing during which the starter is commanded to keep the rotational speed (N) of the rotor constant or reduce it until a predetermined condition is satisfied, - after the predetermined condition has been satisfied, a step (E6) of secondary acceleration during which the starter is commanded to increase the rotational speed (N) of the rotor, and - an ignition step (E6) during which ignition of the engine is commanded.

(57) **Abrégé** : L'invention propose un procédé de démarrage d'une turbomachine, mis en œuvre par une unité électronique, la turbomachine comprenant un moteur à turbine à gaz incluant au moins un rotor et un démarreur apte à entraîner le rotor en rotation, le procédé de démarrage comprenant : - une étape (E1) de réception d'un ordre de démarrage de la turbomachine, et, en réponse à la réception de l'ordre de démarrage : - une étape (E2, E3) d'accélération primaire dans laquelle on commande le démarreur pour augmenter la vitesse de rotation (N) du rotor, - une étape (E4, E5) d'homogénéisation thermique dans laquelle on commande le démarreur pour maintenir constante ou diminuer la vitesse de rotation (N) du rotor, jusqu'à la vérification d'une condition prédéterminée, - après vérification de la condition

[Suite sur la page suivante]

WO 2013/007912 A1 

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

PROCEDE DE DEMARRAGE D'UNE TURBOMACHINE REDUISANT LE BALOURD THERMIQUE

5

Arrière-plan de l'invention

La présente invention se rapporte au domaine général des turbomachines. La présente invention concerne en particulier la prise en compte du balourd thermique lors du démarrage d'une turbomachine.

10

Le balourd thermique est un balourd temporaire qui s'installe sur le rotor d'une turbomachine après l'arrêt de celle-ci. L'air chaud étant plus léger que l'air froid, une hétérogénéité des températures se met en place dans la veine, ce qui crée par effet bilame une mise en flèche du rotor. Le balourd thermique peut être plus de cent fois supérieur au balourd résiduel du rotor.

15

Or, une turbomachine doit franchir une ou plusieurs vitesses critiques avant d'atteindre sa vitesse de fonctionnement. Ainsi, lors du franchissement des vitesses critiques pendant le redémarrage de la turbomachine, le balourd thermique peut avoir pour conséquence de fortes vibrations, ce qui peut altérer la fiabilité de la turbomachine. Le balourd thermique peut également avoir pour conséquence des touches stator/rotor qui peuvent altérer la tenue mécanique des composants impliqués.

20

Plusieurs solutions connues visent à réduire les effets indésirables du balourd thermique :

25

- Interdiction de redémarrer la turbomachine pendant un certain temps après son arrêt.
- Procédures spécifiques réalisées pendant l'arrêt ou avant le redémarrage, visant à diminuer l'hétérogénéité de température (ventilation, rotations successives du moteur, injection d'un flux d'air dans la veine,...)
- Ouverture des jeux stator/rotor pour empêcher les touches pendant le redémarrage de la turbomachine.
- Adaptation de l'architecture pour limiter les effets du balourd thermique.

30

35

Ces solutions connues présentent toutefois certains inconvénients :

- L'interdiction de redémarrer pendant un certain temps pénalise la disponibilité de la turbomachine.
- 5 - Les procédures spécifiques nécessitent une intervention d'un opérateur, par exemple du pilote dans le cas d'une turbomachine d'aéronef.
- L'ouverture des jeux stator/rotor se fait au détriment des performances de la turbomachine.
- 10 - L'adaptation de l'architecture se fait au détriment de la masse de la turbomachine.

Par exemple, le document FR 2 185 753 décrit l'injection d'air comprimé dans la veine, par un canal prévu à cet effet. Ce document mentionne également d'autres solutions, notamment la mise en rotation
15 de la turbomachine par un vireur, avant son redémarrage. Cette dernière solution implique l'intervention d'un opérateur avant le redémarrage.

Il existe donc un besoin d'une solution plus efficace pour le démarrage d'une turbomachine susceptible d'être affectée par un balourd thermique.

20

Objet et résumé de l'invention

L'invention propose de répondre à ce besoin en proposant un procédé de démarrage ou de redémarrage d'une turbomachine, mis en œuvre par une unité électronique, la turbomachine comprenant un moteur
25 à turbine à gaz incluant au moins un rotor et un démarreur apte à entraîner le rotor en rotation, le procédé de démarrage comprenant :

- une étape de réception d'un ordre de démarrage de la turbomachine, et, en réponse à la réception de l'ordre de démarrage :
- une étape d'accélération primaire dans laquelle on commande le
30 démarreur pour augmenter la vitesse de rotation du rotor,
- une étape d'homogénéisation thermique dans laquelle on commande le démarreur pour maintenir constante ou diminuer la vitesse de rotation du rotor, jusqu'à la vérification d'une condition prédéterminée,
- après vérification de la condition prédéterminée, une étape
35 d'accélération secondaire dans laquelle on commande le démarreur pour augmenter la vitesse de rotation du rotor, et

- une étape d'allumage dans laquelle on commande l'allumage du moteur.

Comme la vitesse de rotation n'augmente plus après l'étape d'accélération primaire, le balourd thermique ne produit pas de vibrations inacceptables pendant l'étape d'accélération primaire et l'étape
5 d'homogénéisation thermique. De plus, pendant l'étape d'homogénéisation thermique, les échanges convectifs forcés dans le moteur homogénéisent les températures et réduisent donc le balourd thermique. Ainsi, lorsque la vitesse de rotation augmente à nouveau pendant la phase d'accélération
10 secondaire, le balourd thermique est réduit et ne génère pas non plus de vibrations inacceptables.

De plus, les étapes d'accélération primaire, d'homogénéisation thermique et d'accélération secondaire sont effectuées par l'unité électronique automatiquement, en réponse à la réception de l'ordre de démarrage. Autrement dit, les étapes du procédé de démarrage qui
15 permettent de réduire le balourd thermique sont intégrées dans le processus de démarrage du moteur, géré par l'unité électronique. A part donner l'ordre de démarrage, aucune autre opération n'est donc à effectuer par un opérateur.

Dans un mode de réalisation, l'étape d'accélération primaire est effectuée jusqu'à atteindre une vitesse de rotation prédéterminée.
20

La vitesse de rotation prédéterminée peut être inférieure à une première vitesse de rotation critique de la turbomachine.

En raison de la réduction du balourd thermique pendant l'étape d'homogénéisation thermique, la vitesse de rotation peut ensuite dépasser
25 la vitesse de rotation prédéterminée pendant l'étape d'accélération secondaire.

Dans un mode de réalisation, la condition prédéterminée est l'écoulement d'une durée prédéterminée depuis le début de l'étape d'homogénéisation thermique.

30 Cette durée prédéterminée est par exemple comprise entre 5 et 60 secondes.

Dans un autre mode de réalisation, l'étape d'accélération primaire est effectuée jusqu'à détecter un niveau de vibration supérieur ou égal à un premier niveau prédéterminé, ladite condition prédéterminée
35 étant la détection d'un niveau de vibration inférieur ou égal à un deuxième niveau prédéterminé inférieur au premier niveau prédéterminé.

Lors de l'étape d'homogénéisation thermique, on peut commander le démarreur pour maintenir constante la vitesse de rotation du rotor.

5 Dans une variante, lors de l'étape d'homogénéisation thermique, on commande le démarreur pour cesser d'entraîner le rotor en rotation.

De manière correspondante, l'invention propose également :

- 10 - Un programme d'ordinateur comprenant des instructions pour la mise en œuvre d'un procédé de démarrage conforme à l'invention lorsque ce programme d'ordinateur est exécuté par un ordinateur.
- Une unité électronique comprenant une mémoire dans laquelle est mémorisé un programme d'ordinateur conforme à l'invention.
- Une turbomachine comprenant une unité électronique conforme à l'invention, un moteur à turbine à gaz incluant au moins un rotor et un démarreur apte à entraîner le rotor en rotation.

15

Brève description des dessins

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description faite ci-dessous, en référence aux dessins annexés qui en illustrent des exemples de réalisation dépourvus de tout caractère limitatif. Sur les figures :

- 20 - la figure 1 est une représentation schématique d'une turbomachine selon un mode de réalisation de l'invention,
- les figures 2 à 5 sont des graphes représentant l'évolution de la vitesse de rotation de la turbomachine de la figure 1 lors de son démarrage, en fonction du temps, selon plusieurs variantes de réalisation de l'invention, et
- 25 - la figure 6 est un diagramme qui représente les principales étapes d'un procédé de démarrage selon un mode de réalisation de l'invention.

30

Description détaillée de l'invention

La **figure 1** représente une turbomachine 1 qui comprend une unité électronique 2, un moteur 3 et un démarreur 4. Dans une réalisation de l'invention, la turbomachine 1 est un turbomoteur d'hélicoptère. Ce type de turbomoteur est connu de l'homme du métier et il ne sera donc pas décrit en détails. L'invention est toutefois applicable à d'autres types

35

de turbomachines pour avions, notamment à un turboréacteur, un turboréacteur à double corps et double flux, un turbopropulseur... ou des turbomachines industrielles...

5 Le moteur 3 est un moteur à turbines à gaz qui comprend au moins un rotor. Ci-après, on note N la vitesse de rotation du rotor. Dans le cas précité d'un turboréacteur à double corps, double flux, le moteur 3 comprend deux rotors et N désigne la vitesse de rotation d'un des deux rotors.

10 Le démarreur 4 est par exemple un moteur électrique couplé au moteur 3 et qui peut entraîner le rotor du moteur 3 en rotation. Le démarreur 4 peut également servir de générateur électrique lorsqu'il est entraîné en rotation par le moteur 3.

15 L'unité électronique 2 commande le fonctionnement général de la turbomachine 1, notamment en mettant en œuvre une boucle de régulation principale pour asservir le régime ou la poussée de la turbomachine 1. L'unité électronique 2 est typiquement connue par l'homme du métier sous le nom de FADEC (pour « *Full Authority Digital Engine Control* ») ou de EEC (pour « *Electronic Engine Controller* »).

20 L'unité électronique 2 présente l'architecture matérielle d'un ordinateur et comprend notamment un processeur 5, une mémoire non-volatile 6, une mémoire volatile 7 et une interface 8. Le processeur 5 permet d'exécuter des programmes d'ordinateur mémorisés dans la mémoire non-volatile 6, en utilisant la mémoire volatile 7 comme espace de travail. L'interface 8 permet d'acquérir des signaux représentatifs du
25 fonctionnement de la turbomachine 1 et d'envoyer des signaux de commande.

Ainsi, l'unité électronique 2 peut notamment acquérir un signal représentatif de la vitesse de rotation N du rotor, un signal représentatif d'un niveau de vibrations S dans le moteur 3, fourni par un capteur de
30 vibration (par exemple un accéléromètre), et un signal représentatif d'un ordre de démarrage DEM, fourni par exemple par un organe de commande manipulable par un opérateur (le pilote dans le cas d'un turbomoteur d'avion). L'unité électronique 2 peut également commander, entre autres, le démarreur 4 et l'allumage du moteur 3.

35 En référence à la **figure 2**, on décrit maintenant un premier exemple de procédé de démarrage de la turbomachine 1. La figure 2 est

un graphe qui représente l'évolution de la vitesse de rotation N en fonction du temps t .

A l'instant t_0 , l'unité électronique 2 reçoit un ordre de démarrage de la turbomachine 1. L'unité électronique 2 commande alors le démarreur 4 de manière à entraîner le rotor et à augmenter progressivement sa vitesse de rotation N jusqu'à atteindre, à l'instant t_1 , une vitesse de rotation N_1 prédéterminée. La vitesse de rotation N_1 est inférieure à la première vitesse de rotation critique N_c du rotor.

Ensuite, l'unité électronique 2 commande le démarreur 4 de manière à cesser d'entraîner le rotor pendant une durée Δt prédéterminée. La durée Δt prédéterminée est par exemple comprise entre 5 et 60 secondes. En raison de la puissance aérodynamique dissipée, la vitesse de rotation N diminue. Pendant cette durée prédéterminée, les échanges convectifs forcés dans le moteur 3 homogénéisent les températures et réduisent donc le balourd thermique.

Après l'écoulement de la durée Δt prédéterminée, à l'instant t_2 , l'unité électronique 2 commande le démarreur 4 de manière à entraîner le rotor et à augmenter progressivement sa vitesse de rotation N jusqu'à dépasser les vitesses de rotation N_1 et N_c et à atteindre, à l'instant t_3 , une vitesse de rotation N_a prédéterminée.

Ensuite, à l'instant t_3 , l'unité électronique 2 commande l'allumage du moteur 3.

Entre l'instant t_0 et l'instant t_2 , la vitesse de rotation N est toujours inférieure ou égale à la vitesse de rotation N_1 , elle-même inférieure à la vitesse de rotation N_c . Ainsi, le balourd thermique ne produit pas de vibrations inacceptables. De plus, entre les instants t_1 et t_2 , les échanges convectifs forcés dans le moteur 3 homogénéisent les températures et réduisent donc le balourd thermique. Ainsi, lorsque la vitesse de rotation N augmente à partir de l'instant t_2 , le balourd thermique est réduit et ne génère pas non plus de vibrations inacceptables.

La **figure 3** est similaire à la figure 2 et illustre un deuxième exemple de procédé de démarrage de la turbomachine 1. Ce deuxième exemple est similaire au premier exemple de la figure 2. Il s'en distingue par le fait que, après l'instant t_1 , l'unité électronique 2 commande le démarreur 4 de manière à cesser d'entraîner le rotor jusqu'à détecter, à

l'instant t_2 , que la vitesse de rotation N est inférieure ou égale à une vitesse de rotation N_1' prédéterminée. La vitesse N_1' est inférieure à la vitesse N_1 . Autrement dit, l'instant t_2 est déterminé sur la base d'un seuil de vitesse et non de l'écoulement d'une durée prédéterminée.

5 La **figure 4** est similaire à la figure 2 et illustre un troisième exemple de procédé de démarrage de la turbomachine 1. Ce troisième exemple est similaire au premier exemple de la figure 2. Il s'en distingue par le fait que, pendant la durée Δt prédéterminée, c'est-à-dire entre les instants t_1 et t_2 , l'unité électronique 2 commande le démarreur 4 de manière à maintenir la vitesse de rotation N constante et égale à N_1 .

10 Comme dans le cas des figures 2 et 3, la vitesse de rotation N est limitée avant l'instant t_2 et le balourd thermique est réduit après l'instant t_2 en raison des échanges convectifs forcés dans le moteur 3. On évite ainsi des vibrations inacceptables.

15 La **figure 5** est similaire à la figure 2 et représente l'évolution de la vitesse de rotation N en fonction du temps t dans un quatrième exemple de procédé de démarrage de la turbomachine 1.

A l'instant t_0 , l'unité électronique 2 reçoit un ordre de démarrage de la turbomachine 1. L'unité électronique 2 commande donc le démarreur 20 4 de manière à entraîner le rotor et à augmenter progressivement sa vitesse de rotation N jusqu'à détecter, à l'instant t_1 , un niveau de vibration S supérieur ou égal à un seuil prédéterminé S_1 . La vitesse de rotation N à l'instant t_1 est notée N_1' . Un choix approprié du seuil S_1 permet d'assurer que N_1' est inférieure à la première vitesse de rotation critique N_c du rotor.

25 Ensuite, l'unité électronique 2 commande le démarreur 4 de manière à maintenir la vitesse de rotation N constante et égale à N_1' , jusqu'à détecter, à un instant t_2 , que le niveau de vibration S est inférieur ou égal à un seuil prédéterminé S_2 . Le seuil S_2 est inférieur au seuil S_1 .

30 Ensuite, l'unité électronique 2 commande le démarreur 4 de manière à entraîner le rotor et à augmenter progressivement sa vitesse de rotation N jusqu'à dépasser les vitesses de rotation N_1' et N_c et à atteindre, à l'instant t_3 , une vitesse de rotation N_a prédéterminée.

A l'instant t_3 , l'unité électronique 2 commande alors l'allumage du moteur 3.

35 Le procédé de démarrage de la figure 4 est itératif. Autrement dit, si après l'instant t_2 on atteint de nouveau le seuil S_1 , l'unité

électronique 2 commande de nouveau le démarreur 4 de manière à maintenir la vitesse de rotation N constante et égale à N_1' , jusqu'à détecter que le niveau de vibration S est inférieur ou égal à au seuil S_2 .

5 Comme dans le cas des figures 2 à 4, la vitesse de rotation N est limitée avant l'instant t_2 et le balourd thermique est réduit après l'instant t_2 en raison des échanges convectifs forcés dans le moteur 3. On évite ainsi des vibrations inacceptables.

Le déroulement du procédé de démarrage illustré sur les figures 2 à 5 peut correspondre à l'exécution, par le processeur 5, d'un programme d'ordinateur P1 mémorisé dans la mémoire non-volatile 6. La **figure 6** représente les principales étapes de ce procédé de démarrage, mis en œuvre par l'unité électronique 2 lors de l'exécution du programme d'ordinateur P1.

15 Le procédé de démarrage débute à l'étape E1 au cours de laquelle l'unité électronique 2 reçoit un ordre de démarrage. L'étape E1 correspond à l'instant t_0 des figures 2 à 4. Les étapes E2 à E6 qui suivent sont effectuées en réponse à la réception de l'ordre de démarrage.

A l'étape E2, l'unité électronique 2 commande le démarreur 4 de manière à entraîner le rotor et à augmenter progressivement sa vitesse de rotation N . A l'étape E3, l'unité électronique 2 teste une condition de transition vers l'étape E4. Dans le cas des figures 2 à 4, la condition de transition est $N \geq N_1$. Dans le cas de la figure 5, la condition de transition est $S \geq S_1$. Dans une autre variante (non représentée), la condition est l'écoulement d'une durée prédéterminée. Le procédé de démarrage boucle 25 à l'étape E2 tant que la condition de transition n'est pas vérifiée.

Les étapes E2 et E3 correspondent à une étape d'accélération primaire d'un procédé de démarrage conforme à l'invention.

Lorsque la condition de transition de l'étape E3 est vérifiée, ce qui correspond à l'instant t_1 des figures 2 à 5, le procédé de démarrage se poursuit à l'étape E4. Au cours de l'étape E4, l'unité électronique 2 commande le démarreur 4 de manière à cesser d'entraîner le rotor (cas des figures 2 et 3) ou à maintenir la vitesse de rotation N constante (cas des figures 4 et 5).

35 A l'étape E5, l'unité électronique 2 teste une condition prédéterminée. Dans le cas des figures 2 et 4, la condition prédéterminée est l'écoulement de la durée Δt prédéterminée depuis la fin de l'étape E3.

Dans le cas de la figure 3, la condition prédéterminée est $N \leq N_1'$. Dans le cas de la figure 5, la condition prédéterminée est $S \leq S_2$. Le procédé de démarrage boucle à l'étape E4 tant que la condition prédéterminée n'est pas vérifiée.

5 Les étapes E4 et E5 correspondent à une étape d'homogénéisation thermique d'un procédé de démarrage conforme à l'invention.

Lorsque la condition prédéterminée de l'étape E5 est vérifiée, ce qui correspond à l'instant t_2 des figures 2 à 4, le procédé de démarrage se poursuit à l'étape E6. Au cours de l'étape E6, l'unité électronique 2 commande le démarreur 4 de manière à entraîner le rotor et à augmenter progressivement sa vitesse de rotation N jusqu'à dépasser les vitesses de rotation N_1 (ou N_1') et N_c et à atteindre, à l'instant t_3 , la vitesse de rotation N_a prédéterminée. L'unité électronique 2 commande alors l'allumage du moteur 3, ce qui implique l'injection de carburant et l'allumage de la chambre de combustion de la turbomachine.

L'étape E6 correspond à une étape d'accélération secondaire et à une étape d'allumage d'un procédé de démarrage conforme à l'invention.

20 Comme expliqué précédemment en références aux figures 2 à 5, le procédé de démarrage décrit permet d'éviter des vibrations indésirables qui peuvent être provoquées par le balourd thermique. Il n'est pas nécessaire d'attendre une durée prédéterminée après l'arrêt de la turbomachine 1 pour redémarrer le moteur 3. La solution proposée ne nécessite pas une architecture spécifique du moteur 3 ni l'ouverture des jeux stator/rotor.

25 De plus, les étapes E2 à E6 sont effectuées par l'unité électronique 2 automatiquement, en réponse à la réception de l'ordre de démarrage à l'étape E1. A part donner l'ordre de démarrage, le pilote n'a donc aucune autre opération à effectuer. En effet, les étapes E2 à E6 du procédé de démarrage sont intégrées dans le processus de démarrage du moteur 3, géré par l'unité électronique 2 lors de l'exécution du programme d'ordinateur P1.

35 Dans une variante de réalisation, les étapes E2 à E6 sont mises en œuvre autrement que par une unité électronique incluant un processeur qui exécute un programme d'ordinateur. Par exemple, l'unité

électronique peut être un automate de type séquenceur à relais configuré pour la mise en œuvre des étapes E2 à D6 en réponse à la réception d'un ordre de démarrage.

- 5 Dans un mode de réalisation, les étapes E2 à E6 sont précédées d'une étape de test de l'état thermique de la turbomachine. Dans ce cas, si l'état thermique de la turbomachine indique la présence d'un balourd thermique, les étapes E2 à E6 sont exécutées comme décrit précédemment. Par contre, si l'état thermique indique l'absence de balourd thermique (moteur froid), le démarrage de la turbomachine est
- 10 commandé sans passer par les étapes E2 à E6.

REVENDICATIONS

1. Procédé de démarrage ou de redémarrage d'une turbomachine (1), mis en œuvre par une unité électronique (2), la
5 turbomachine (1) comprenant un moteur (3) à turbine à gaz incluant au moins un rotor et un démarreur (4) apte à entraîner le rotor en rotation, caractérisé en ce qu'il comprend, en réponse à la réception d'un ordre de démarrage :

- 10 - une étape (E2, E3) d'accélération primaire dans laquelle on commande le démarreur (4) pour augmenter la vitesse de rotation (N) du rotor,
- une étape (E4, E5) d'homogénéisation thermique dans laquelle on commande le démarreur (4) pour maintenir constante ou diminuer la vitesse de rotation (N) du rotor, jusqu'à la vérification d'une condition prédéterminée, sans commander l'allumage du moteur,
- 15 - après vérification de la condition prédéterminée, une étape (E6) d'accélération secondaire dans laquelle on commande le démarreur (4) pour augmenter la vitesse de rotation (N) du rotor, et
- une étape (E6) d'allumage dans laquelle on commande l'allumage du moteur (3).

20

2. Procédé de démarrage selon la revendication 1, dans lequel l'étape (E2, E3) d'accélération primaire est effectuée jusqu'à atteindre une vitesse de rotation prédéterminée (N_1).

25 3. Procédé de démarrage selon la revendication 2, dans lequel la vitesse de rotation prédéterminée (N_1) est inférieure à une première vitesse de rotation critique (N_c) de la turbomachine.

30 4. Procédé de démarrage selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel ladite condition prédéterminée est l'écoulement d'une durée (Δt) prédéterminée depuis le début de l'étape (E4, E5) d'homogénéisation thermique.

35 5. Procédé de démarrage selon la revendication 1, dans lequel l'étape (E2, E3) d'accélération primaire est effectuée jusqu'à détecter un niveau de vibration (S) supérieur ou égal à un premier niveau prédéterminé

(S₁), ladite condition prédéterminée étant la détection d'un niveau de vibration (S) inférieur ou égal à un deuxième niveau prédéterminé (S₂) inférieur au premier niveau prédéterminé (S₁).

- 5 6. Procédé de démarrage selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel, lors de l'étape (E4, E5) d'homogénéisation thermique, on commande le démarreur (4) pour maintenir constante la vitesse de rotation (N) du rotor.
- 10 7. Procédé de démarrage selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel, lors de l'étape (E4, E5) d'homogénéisation thermique, on commande le démarreur (4) pour cesser d'entraîner le rotor en rotation.
- 15 8. Support d'enregistrement lisible par ordinateur ayant enregistré un programme d'ordinateur (P1) comprenant des instructions pour la mise en œuvre d'un procédé de démarrage selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 lorsque ledit programme d'ordinateur (P1) est exécuté par un ordinateur.
- 20 9. Unité électronique (2) comprenant le support d'enregistrement selon la revendication 8.
- 25 10. Turbomachine (1) comprenant une unité électronique (2) selon la revendication 9, un moteur (3) à turbine à gaz incluant au moins un rotor et un démarreur (4) apte à entraîner le rotor en rotation.

1/2

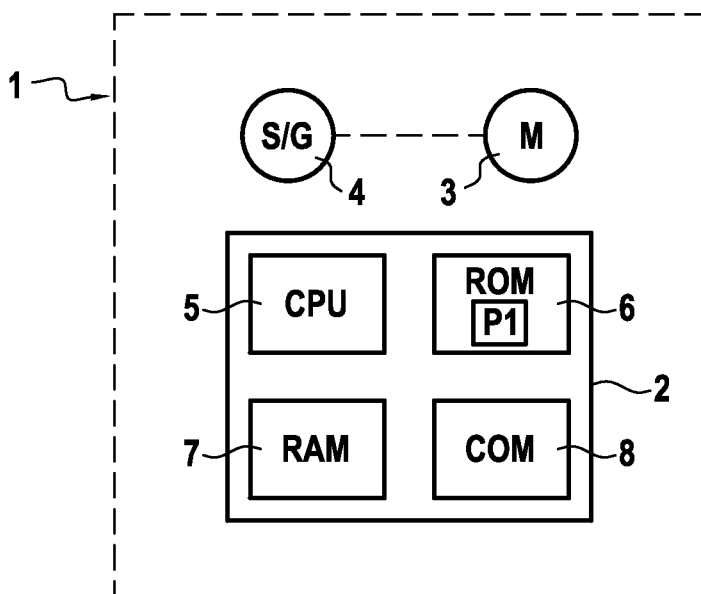


FIG.1

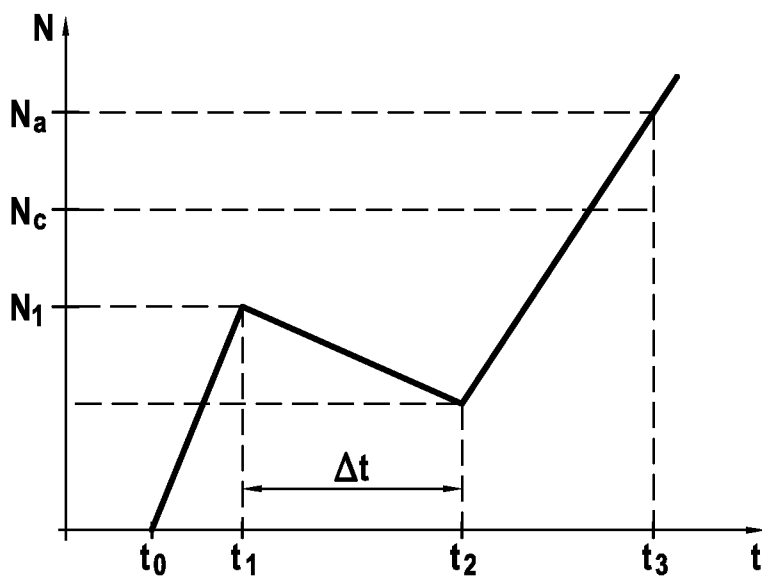


FIG.2

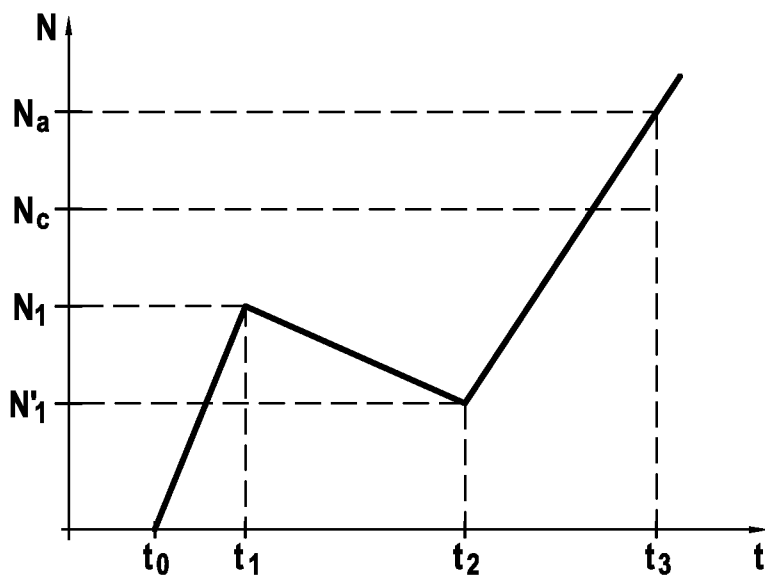


FIG.3

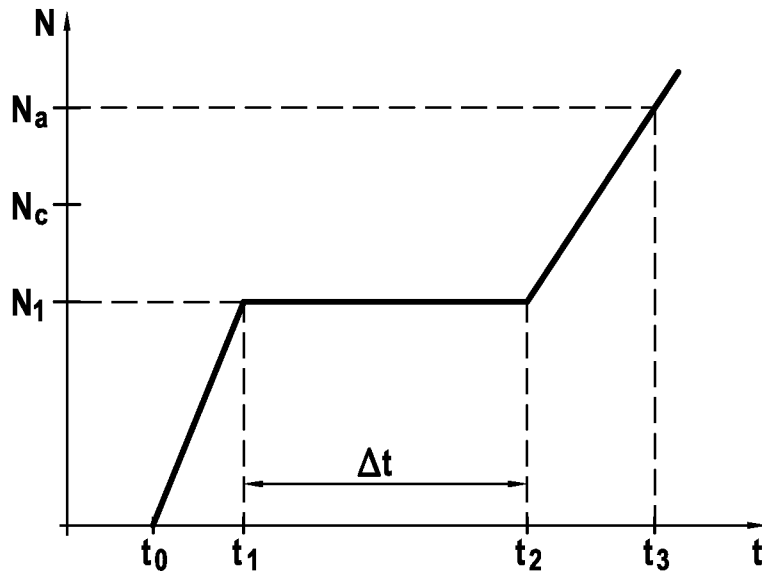


FIG.4

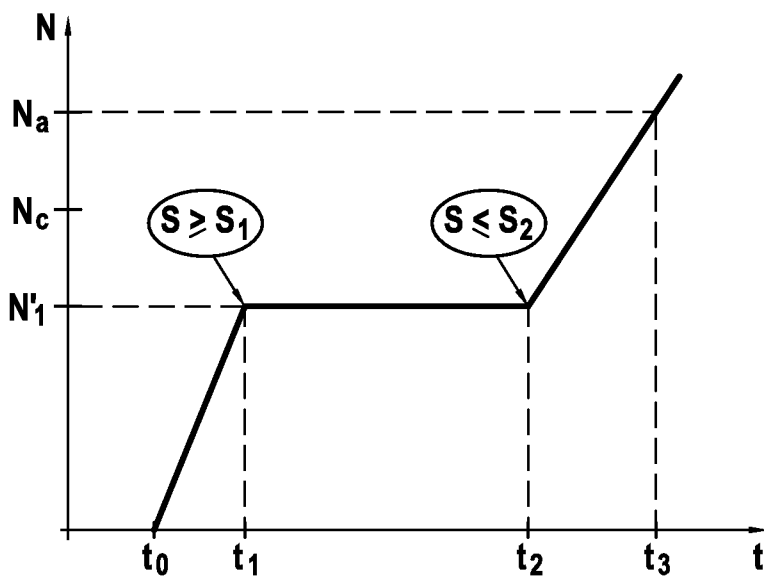


FIG.5

FIG.6

